

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



552 500

(43) Date de la publication internationale  
4 novembre 2004 (04.11.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/095658 A2**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
H01S 3/097, H05G 1/00, H01J 1/00

APPLIQUEES (S.O.P.R.A) [FR/FR]; 20, rue Pierre  
Joigneaux, F-92270 Bois Colombes (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/000557

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
MAKAROV, Maxime [RU/FR]; Clos St Vigor, Bât.  
2, Appt. 117, F-78220 Viroflay (FR). STEHLE, Marc  
[FR/FR]; 5, rue Banes, F-92190 Meudon (FR).

(22) Date de dépôt international : 9 mars 2004 (09.03.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
03/04355 8 avril 2003 (08.04.2003) FR

(74) Mandataire : PLACAIS, Jean-Yves; Cabinet Netter, 36,  
avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

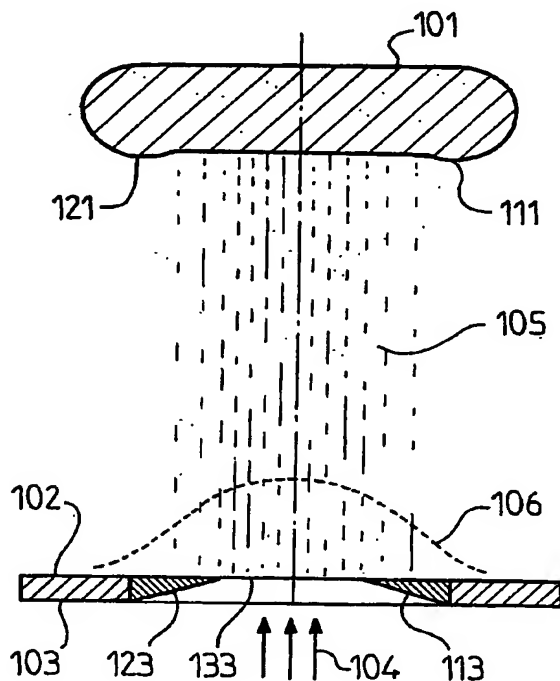
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SO-  
CIE TE DE PRODUCTION ET DE RECHERCHES

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: CONTROL OF THE SPATIO-TEMPORAL UNIFORMITY OF A PULSED GAS LASER BEAM

(54) Titre : CONTROLE DE L'UNIFORMITE SPATIO-TEMPORELLE DU FAISCEAU D'UN LASER A GAZ PULSE



(57) Abstract: The invention relates to the control of the spatio-temporal uniformity of a pulsed gas laser beam, especially generated by a high-power excimer laser. According to the invention, two raised lateral parts (111, 121) are provided on at least one of the discharge electrodes (101), said parts enabling the electrical discharge to be initialised at this level and to remain constantly stuck at this level after having spread over the entire surface of the electrode between said raised parts. In order to compensate for the lack of uniformity of the discharge created by the lack of uniformity of the electric field, the collimation mask (103) of the preionisation X-rays is thinned from the edges thereof towards the centre thereof in order to progressively reinforce the preionisation from the outer level of the discharge to the centre of the same. The invention enables a discharge to be obtained, and thus a plasma, which are both spatially uniform and temporally stable. The laser beam obtained from said plasma is thus uniform and stable itself.

(57) Abrégé : L'invention concerne le contrôle de l'uniformité spatio-temporelle du faisceau d'un laser à gaz pulsé, notamment d'un laser à excimères de grande puissance. Elle consiste à prévoir sur l'une au moins des électrodes de décharge (101) deux parties latérales surélevées (111, 121), qui permette d'initialiser la décharge électrique à ce niveau et de l'y laisser constamment accrochée après qu'elle se soit étendue à la totalité de la surface de l'électrode comprise entre ces

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/095658 A2



GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

parties surélevées. Pour compenser le manque d'uniformité de la décharge créé par le manque d'uniformité du champ électrique, le masque de collimation (103) des rayons X de préionisation est aminci depuis ses bords jusque vers son centre pour renforcer la préionisation progressivement depuis le niveau extérieur de la décharge jusqu'au centre de celle-ci. Elle permet d'obtenir une décharge, et donc un plasma, à la fois uniformes dans l'espace et stables dans le temps. Le faisceau laser obtenu à partir de ce plasma et donc lui-même uniforme et stable.

## CONTRÔLE DE L'UNIFORMITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU FAISCEAU D'UN LASER À GAZ PULSÉ.

5

La présente invention se rapporte au contrôle de l'uniformité spatio-temporelle du faisceau d'un laser à gaz pulsé, plus particulièrement d'un laser haute puissance de grande taille du type à excimères.

10

Dans un laser de ce type, on excite un gaz adéquat par une série de décharges électriques brèves et répétitives entre deux électrodes sensiblement planes, pour obtenir un plasma qui sert de milieu actif au laser. Pour faciliter, et dans une certaine mesure confiner, cette décharge, on utilise un faisceau de rayons X de préionisation, dont l'axe est sensiblement confondu avec celui de la décharge. A chaque décharge correspond une impulsion laser. On trouvera une description d'un tel laser notamment dans un article de H. Mizoguchi et al. intitulé "Rapid Discharge-Pumped Wide Aperture X-ray Preionised KrF Laser" et publié dans Appl. Phys. B 52, pp. 195-199 (1991).

15

Le plasma obtenu à chaque décharge est essentiellement instable, ce qui perturbe gravement l'impulsion laser correspondante. Le faisceau laser ainsi obtenu manque donc d'uniformité, aussi bien spatiale que temporelle.

20

Pour tenter d'obtenir un plasma, et donc un faisceau laser, uniformes, on a proposé de modifier le profil d'au moins l'une des électrodes pour homogénéiser au mieux le champ électrique dans la décharge. On trouve la description de certains profils spécialement conçus dans ce but par exemple dans l'article de G. ERNST "Uniform-Field Electrodes With Minimum Width", publié dans Opt. Commun. 49(4), 275-277 (1984) ou dans celui de T. CHANG, "Improved Uniform-Field Electrode Profiles for TEA Laser and High-Voltage Applications", publié dans Rev. Sci. Instrum., 44(4), 405-407 (1973).

25

30

On a proposé aussi de profiler le faisceau de rayons X en masquant les parties périphériques de la décharge, là où le champ électrique est en général hétérogène ou le plasma est perturbé par l'effet de peau. Ces méthodes sont utilisées notamment dans le laser de Mizoguchi cité plus haut.

35

On sait aussi utiliser des dispositifs optiques auxiliaires pour corriger certains des défauts du faisceau laser sortant à l'état "brut" de la tête laser. Ceci suppose toutefois que les hétérogénéités de ce faisceau soient stables et répétitives et ne répond donc pas aux problèmes posés par les instabilités temporelles de la décharge.

5

Or, si l'on sait bien obtenir un champ électrique initial assez uniforme, dès que la décharge se déclenche elle perturbe de manière plus ou moins aléatoire la répartition du champ, et donc l'homogénéité du plasma obtenu. Même lorsque le profilage des électrodes (par exemple selon les méthodes décrites dans les articles précités) permet d'obtenir un champ

10 électrique initial aussi homogène que possible, la décharge a tendance à se contracter vers le centre des électrodes, ce qui entraîne une dégradation importante de l'impulsion laser.

15

Le faisceau de rayons X de préionisation ne permet d'atténuer ce phénomène que très partiellement. En outre dans les réalisations où ce faisceau est partiellement masqué il faut

remplacer les masques utilisés à chaque fois que l'on souhaite modifier le régime du fonctionnement du laser, par exemple pour modifier la variation de l'énergie émise. Cette

procédure prend un temps considérable et ralentit d'autant les capacités opérationnelles du laser.

20

Pour remédier à ces inconvénients, l'invention propose un procédé pour contrôler l'uniformité spatio-temporelle du faisceau d'un laser à gaz pulsé, dans lequel on provoque une décharge électrique impulsive dans un gaz entre deux électrodes et on applique à ce gaz un faisceau de rayons X de préionisation dont l'axe est sensiblement confondu avec celui de la décharge, principalement caractérisé en ce que l'on crée un renforcement latéral

25 du champ électrique dans l'espace inter-électrodes pour stabiliser la décharge dans le temps et dans l'espace, et que l'on crée un renforcement axial du faisceau de rayons X pour compenser les modifications de l'uniformité de la décharge provenant de ce renforcement latéral du champ électrique.

30

L'invention propose également un laser pour la mise en oeuvre du procédé ci-dessus, principalement caractérisé en ce qu'il comprend au moins une électrode profilée pour comporter deux parties latérales surélevées permettant d'obtenir à ce niveau ledit renforcement latéral du champ électrique.

Selon une autre caractéristique, la hauteur des parties latérales surélevées est sensiblement de l'ordre du centième de la distance entre les deux électrodes.

5 Selon une autre caractéristique, les deux électrodes sont profilées pour obtenir ledit renforcement latéral du champ électrique.

10 Selon une autre caractéristique, le laser comprend un masque progressif aux rayons X pour atténuer progressivement depuis le centre de la décharge jusqu'aux bords de celle-ci le faisceau de rayons X de préionisation appliqué selon un axe sensiblement confondu avec celui de la décharge, afin de compenser le manque d'uniformité de la décharge provenant du renforcement du champ électrique sur les bords de celle-ci.

15 Selon une autre caractéristique, le masque progressif est formé d'une plaque absorbant les rayons X, dont l'épaisseur diminue progressivement depuis des emplacements situés en regard des deux dites parties latérales surélevées, où l'absorption des rayons X est maximale, jusqu'à une partie centrale où l'absorption est sensiblement nulle.

20 Selon une autre caractéristique, la progressivité de l'amincissement de la plaque absorbant les rayons X permet d'adapter le profil de la courbe d'absorption des rayons X au profil du champ électrique entre ces deux renforcements latéraux.

25 Selon une autre caractéristique, la plaque absorbant les rayons X est amincie selon deux rampes sensiblement linéaires qui partent de l'une de ses surfaces au niveau des bords de la décharge, pour déboucher sur l'autre surface en déterminant un trou central correspondant à la transmission maximale.

Selon une autre caractéristique, le laser est du type à excimères.

30 D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, faite en regard des figures annexées, sur lesquelles :

- la figure 1 est le schéma synoptique d'un laser comprenant une tête selon l'invention; et

- la figure 2 illustre en coupe les organes essentiels de la tête du laser représenté sur la figure 1.

La construction des lasers à gaz pulsés du type selon l'invention est très connue dans l'art et est parfaitement détaillée dans de nombreux articles tels que celui de Mizoguchi cité plus haut dans cette description.

Un tel laser est donc composé, comme représenté sur la figure 1, de trois sous-systèmes principaux : une alimentation haute-tension 10, un commutateur 20 et une tête laser 30 dans laquelle se développe la décharge électrique. L'alimentation 10 permet d'accumuler une quantité d'énergie suffisante pour obtenir la décharge voulue. Quand l'accumulation d'énergie est suffisante, le commutateur 20 relie l'alimentation à la tête laser, ce qui provoque la décharge. Cette décharge électrique permet d'obtenir un flash de lumière ultraviolette qui sort de la cavité laser.

On se contentera dans la suite de cette description de représenter et de décrire seulement les organes modifiés selon l'invention.

La tête laser selon l'invention représentée en détail sur la figure 2 comprend une électrode profilée 101 et une électrode plane 102 entre lesquelles se développe une décharge électrique impulsionnelle formant un plasma 105.

Un faisceau de rayons X 104 se propageant selon l'axe longitudinal du dispositif est introduit dans l'espace interélectrodes par l'intermédiaire d'un masque progressif 103 réalisé en matériau absorbant ces rayons X, du cuivre par exemple. Dans cet exemple de réalisation ce masque est placé en dessous et au contact de l'électrode 102, mais sa position pourrait être différente pourvu qu'elle procure l'effet souhaité décrit ci-après.

Dans les réalisations connues et largement utilisées dans l'art, le profil des électrodes est étudié pour obtenir un champ électrique le plus homogène possible, comme il est décrit dans les articles précités.

L'invention propose de modifier ce profil de base pour obtenir une électrode 101 qui est profilée de manière à comporter deux parties latérales surélevées 111 et 121. Pour ce faire,

il est possible d'utiliser par exemple la méthode de calcul proposée par E. A. STAPPAERTS dans Appl.Phys. Lett. 40(12) du 15 juin 1982, p. 1018 et 1019. Deux parties latérales surélevées permettent d'obtenir un renforcement local du champ électrique. Sous l'effet de ce renforcement local, la décharge électrique s'initialise au niveau de ces parties latérales surélevées et y reste constamment accrochée après qu'elle se soit étendue à la totalité de la surface de l'électrode comprise entre ces parties latérales surélevées, et ceci pendant toute la durée de l'impulsion de décharge. La largeur de la décharge n'est donc déterminée que par la distance entre les parties latérales surélevées 111 et 121. Cette largeur ne change pas pendant toute la durée de l'impulsion et l'espace entre ces parties latérales surélevées est entièrement rempli par la décharge.

Dans une réalisation préférée de l'invention, la hauteur des surélévations de ces parties latérales par rapport à la partie centrale de l'électrode 101 est de l'ordre de un centième de la distance entre les électrodes 101 et 102.

15

Ce mode de réalisation ainsi décrit n'est pas limitatif de l'invention et tout autre profilage des électrodes permettant d'obtenir un tel renforcement local latéral du champ électrique ayant pour effet l'accrochage initial de la décharge électrique et son maintien, ainsi que le remplissage par l'impulsion de tout l'espace entre ces renforcements latéraux, pendant toute la durée de l'impulsion, entre dans le champ de l'invention. On pourrait notamment avoir un profilage particulier des deux électrodes.

20

Cependant, comme l'intensité de la décharge est particulièrement sensible à la valeur du champ électrique, ce renforcement local du champ électrique provoque une dégradation de l'uniformité de la décharge. L'intensité de celle-ci diminue donc en se rapprochant du centre des électrodes, mais elle reste toutefois stable.

25

Selon l'invention, on compense cet effet négatif en renforçant l'intensité du faisceau de rayons X de préionisation 104 progressivement depuis le niveau extérieur de la décharge, déterminé par les parties surélevées 111 et 121, jusque vers le centre de cette décharge.

30

Pour cela, la plaque sensiblement plane formant le masque de collimation 103 du faisceau de rayons X est amincie en biseau depuis l'extérieur jusque vers le centre, de manière à présenter une transmission aux rayons X sensiblement nulle au niveau extérieur de la

décharge et une transmission maximale au niveau de l'axe longitudinal de celle-ci. Sur la figure, cet amincissement est représenté de manière schématique par deux rampes 113 et 123 sensiblement linéaires qui partent de la surface inférieure du masque pour déboucher sur sa surface supérieure en déterminant un trou central 133 correspondant à la transmission maximale. Dans cet exemple de réalisation décrit ici la compensation n'est pas parfaite, mais elle est bien suffisante pour un grand nombre des cas rencontrés en pratique. Pour tenir une meilleure compensation, le profil exact de cet amincissement sera déterminé pour correspondre précisément à la variation du champ électrique entre les deux parties surélevées 111 et 121.

L'effet de ce masque progressif est de déterminer une variation latérale dans l'intensité du faisceau de rayons X, qui est représentée sur la figure de manière purement illustrative par la courbe 106 qui présente grossièrement la forme d'une cloche. Lorsque le profil de l'amincissement du masque est bien adapté au profil de l'électrode 101, cette courbe 106 représente elle-même de manière inverse la variation du champ électrique d'un bord à l'autre de la décharge.

Les effets de la variation du champ électrique et de l'intensité du faisceau de rayons X se compensent donc pour permettre d'obtenir une décharge, et donc un plasma, homogènes dans l'espace et dans le temps entre les deux électrodes.

Ce plasma garde donc des dimensions et une homogénéité constantes pendant toute l'impulsion qui lui donne naissance. Le faisceau laser obtenu par émission stimulée à partir de ce même plasma est donc homogène et d'une forme constante pendant toute l'impulsion.

En outre cette forme du faisceau laser reste elle-même constante quelles que soient les modifications des conditions du régime de fonctionnement du laser, en particulier les variations d'énergie obtenues en modifiant les paramètres d'alimentation des électrodes de décharge. Ceci permet aussi de maintenir constante l'efficacité des dispositifs optiques connus de correction du faisceau laser, quelles que soient les conditions de fonctionnement du laser.



## REVENDICATIONS

1 - Procédé pour contrôler l'uniformité spatio-temporelle du faisceau d'un laser à gaz pulsé, dans lequel on provoque une décharge électrique impulsionnelle dans un gaz entre deux électrodes (101,102) et on applique à ce gaz un faisceau de rayons X (104) de préionisation dont l'axe est sensiblement confondu avec celui de la décharge, caractérisé en ce que l'on crée un renforcement latéral du champ électrique dans l'espace inter-électrodes pour stabiliser la décharge dans le temps et dans l'espace, et que l'on crée un renforcement axial du faisceau de rayons X pour compenser les modifications de l'uniformité de la décharge provenant de ce renforcement latéral du champ électrique.

2.- Laser pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une électrode (101) profilée pour comporter deux parties latérales surélevées (111,121) permettant d'obtenir à ce niveau ledit renforcement latéral du champ électrique.

3 - Laser selon la revendication 2, caractérisé en ce que la hauteur des parties latérales surélevées (111,121) est sensiblement de l'ordre du centième de la distance entre les deux électrodes (101,102).

4 - Laser selon l'une quelconque revendication 2 et 3, caractérisé en ce que les deux électrodes (101,102) sont profilées pour obtenir ledit renforcement latéral du champ électrique.

5 - Laser selon l'une quelconque revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend un masque progressif aux rayons X (103) pour atténuer progressivement depuis le centre de la décharge jusqu'aux bords de celle-ci le faisceau de rayons X de préionisation appliqué selon un axe sensiblement confondu avec celui de la décharge, afin de compenser le manque d'uniformité de la décharge provenant du renforcement du champ électrique sur les bords de celle-ci.

6 - Laser selon la revendication 5, caractérisée en ce que le masque progressif (103) est formé d'une plaque absorbant les rayons X, dont l'épaisseur diminue progressivement depuis des emplacements situés en regard des deux dites parties latérales surélevées

(111,121), où l'absorption des rayons X est maximale, jusqu'à une partie centrale où l'absorption est sensiblement nulle.

5        7 - Laser selon l'une quelconque revendication 5 et 6, caractérisé en ce que la progressivité de l'amincissement de la plaque absorbant les rayons X (103) permet d'adapter le profil de la courbe d'absorption (106) des rayons X au profil de la variation du champ électrique entre ces deux renforcements latéraux.

10       8 - Laser selon l'une quelconque revendication 5 et 6, caractérisé en ce que la plaque absorbant les rayons X (103) est amincie selon deux rampes sensiblement linéaires (113,123) qui partent de l'une de ses surfaces au niveau des bords de la décharge, pour déboucher sur l'autre surface en déterminant un trou central (133) correspondant à la transmission maximale.

15       9 - Laser selon l'une quelconque revendication 2 à 8, caractérisé en ce qu'il est du type à excimères.

1/1

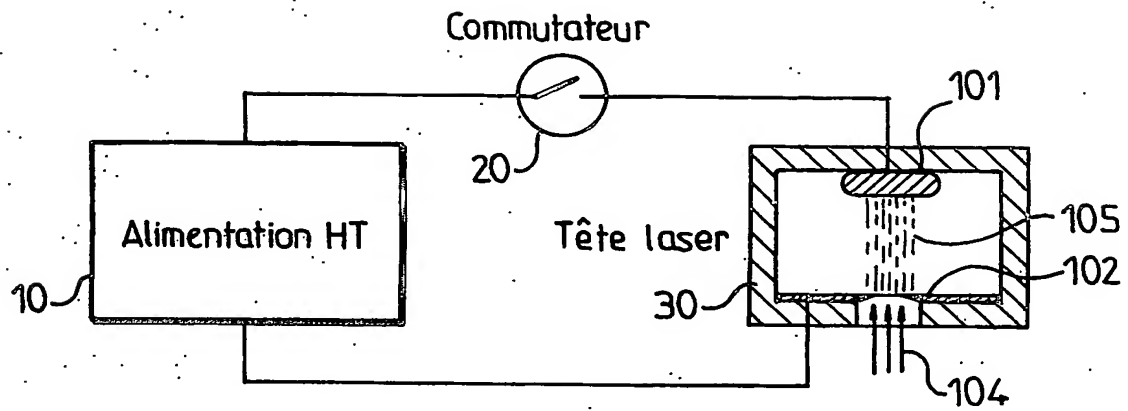


FIG.1

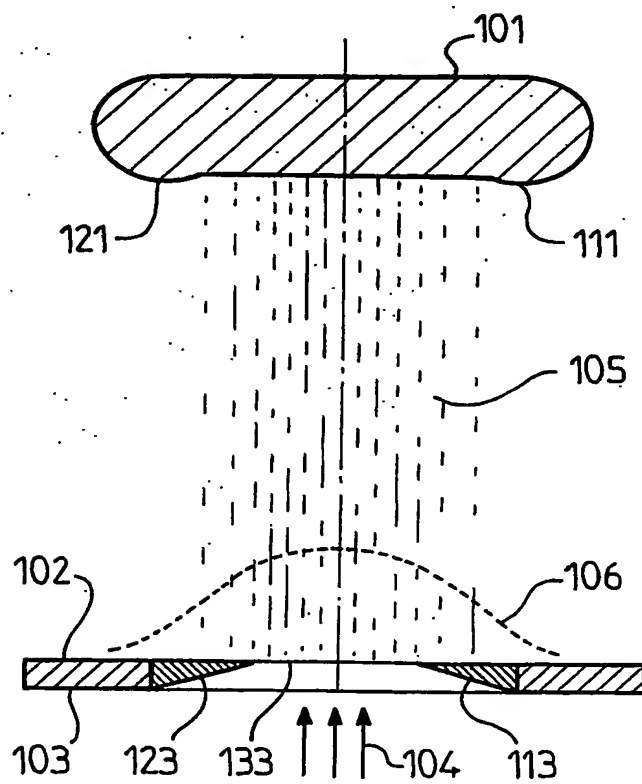


FIG.2